



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001358403 A**(43) Date of publication of application: **26.12.01**

(51) Int. Cl. **H01S 5/183**
H01S 5/04
H01S 5/343

(21) Application number: **2000175852**(22) Date of filing: **12.06.00**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**

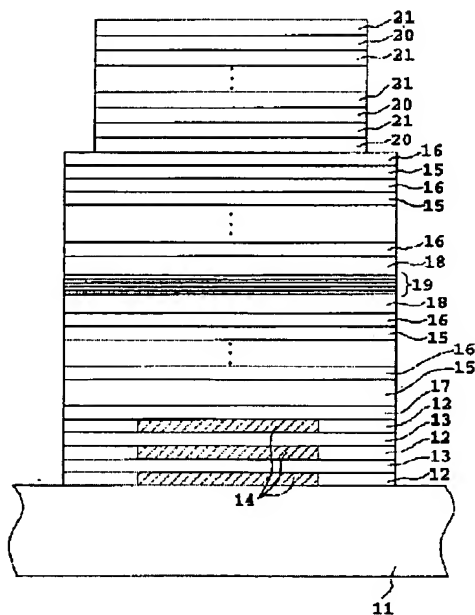
(72) Inventor: **KAGAWA TOSHIAKI**
TATENO KOTA
AMANO CHIKARA

(54) SURFACE LIGHT EMITTING LASER**(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface light emitting laser wherein a long wavelength band surface light emitting laser is effectively excited by using an optical pump, and a DBR of high reflectance and an active layer can be formed in a monolithic manner on an InP substrate without using fusion welding.

SOLUTION: Among semiconductors constituting a semiconductor distribution Bragg reflection mirror, refractive indexes of semiconductor whose refractive index is the smallest and semiconductor whose refractive index is the largest are made $nD1$, $nD2$ respectively, and refractive index of a carrier confining layer is made nS . In this case, a relation of $n1 < nS < nD2$ is held.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層の両側を半導体分布ブラッグ反射鏡で挟んだ構造を有し、前記活性層の側面から入射する励起光によって励起する面発光レーザであって、前記半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する半導体のバンドギャップが、前記励起光の光子のエネルギーよりも大きく、かつ前記励起光に対して透明であり、前記活性層が、量子井戸層と該量子井戸層を挟むキャリア閉じ込め層からなり、前記量子井戸層のバンドギャップが、前記励起光の光子のエネルギーよりも小さく、かつキャリア閉じ込め層のバンドギャップが、前記励起光の光子のエネルギーよりも大きい面発光レーザにおいて、

前記半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する半導体のうち、屈折率の最も小さい半導体と最も大きい半導体の屈折率をそれぞれ n_{D1} 、 n_{D2} とし、前記キャリア閉じ込め層の屈折率を n_S としたとき、 $n_{D1} < n_S < n_{D2}$ の関係が成り立つことを特徴とした面発光レーザ。

【請求項2】 前記活性層の両側に設けられた前記半導体分布ブラッグ反射鏡の外側の少なくとも一方に、誘電体からなる半導体分布ブラッグ反射鏡を設けたことを特徴とした請求項1に記載の面発光レーザ。

【請求項3】 前記活性層の両側に設けられた前記半導体分布ブラッグ反射鏡の外側の少なくとも一方に、半導体と空気の層からなる半導体分布ブラッグ反射鏡を設けたことを特徴とした請求項1に記載の面発光レーザ。

【請求項4】 前記活性層の両側に設けられた前記半導体分布ブラッグ反射鏡の外側の少なくとも一方に、半導体と半導体を酸化した層からなる半導体分布ブラッグ反射鏡を設けたことを特徴とした請求項1に記載の面発光レーザ。

【請求項5】 前記励起光は、前記構造にモノリシック集積された導波路レーザに電流を注入することによって発振した出射光であることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の面発光レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、励起の面発光レーザの構造に関し、より詳細には、特に波長 $1.55\mu\text{m}$ または $1.3\mu\text{m}$ 帯の発振に好適で、かつ高反射率の半導体分布ブラッグ反射鏡と活性層を備えた面発光レーザの構造に関する。

【0002】

【従来の技術】面発光レーザは、活性層と、この活性層の両側を挟む99%以上の反射率を有する半導体分布ブラッグ反射鏡(DBR; Distributed Bragg Reflector)から構成されている。波長 $0.85\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザにおいては、異なるAl組成を有する2つのAlGaAs層を交互に積層することによってDBRを形成するのが一般的である。DBRの反射率は、2つの層の

屈折率の違いが大きいほど、少ない積層数で大きくすることが出来る。AlGaAsにおいては、Al組成比によって屈折率が大きく異なるために(0.6程度)、20ペア程度の積層で99%以上の反射率を得ることが出来る。

【0003】一方、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザに一般に用いられるInPと格子整合したInGaAsPにおいては、組成比によって屈折率の変化は小さく、最大0.3程度の屈折率差しかとれない。従って、反射率を大きくするために50ペアを積層しなければならず、活性層の両側にこの様な厚いDBRを結晶成長することは極めて困難である。

【0004】また、電流注入によって活性層にキャリアを注入するためには、活性層の両側をpとnのDBRで挟まなければならないが、一般にp型のDBRの抵抗が大きいために、ここでのジュール熱による活性層の温度上昇は避けられない。 $1.55\mu\text{m}$ 帯または $1.3\mu\text{m}$ 帯の光を発生する活性層は、GaAs系の活性層に比べて温度依存性が強く、温度上昇によって発光効率が著しく劣化するため、レーザ発振が困難になる。しかも、p型DBRは $1.55\mu\text{m}$ 帯の光の吸収が大きいために光の損失が大きく、これも長波長帯面発光レーザの実現を困難にしている。このような問題点を避けるために、長波長帯面発光レーザを短波面発光レーザの光で励起する構造が提案されている。

【0005】図1は、従来の面発光レーザを示す構造図である。n-GaAs基板上にn型多層AlGaAsからなるDBR2とGaAs系活性層3とp型多層AlGaAsからなるDBR4で $0.85\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザを作り、さらにその上に $1.3\mu\text{m}$ 帯の光に対して高い反射率をもつノンドープのAlGaAs系DBR5を連続的にエピタキシャル成長させる。

【0006】これとは別に、InP基板上にInGaAsPからなる波長 $1.3\mu\text{m}$ の光を発する活性層6を成長しておき、これをノンドープのAlGaAsのDBR5に張り合わせる。その後、InP基板は選択的にエッチングによって除去し、活性層のみがDBRの上に残る。

【0007】さらに、別にGaAs基板上にノンドープの $1.3\mu\text{m}$ 用のAlGaAsのDBR7を成長させ、これをInGaAsP活性層6の上に張り合わせ、GaAs基板を選択的に除去する。

【0008】InGaAsP系活性層6とこれを挟むAlGaAsのDBR5とノンドープのAlGaAsのDBR7は格子定数が異なるが、清浄な表面を合わせて圧力をかけながら加熱することによって、融着される。InP系活性層6とAlGaAsのDBR5、AlGaAsのDBR7のGaAs系DBRによって $1.3\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザを形成する。

【0009】符号8と9は、それぞれnとpのDBR上

の電極であり、これらの間に電流を流すことによって、 $0.85\mu\text{m}$ の面発光レーザを発振させる。このレーザ光はAlGaAs系DBR5の $1.3\mu\text{m}$ 面発光レーザの下部DBRを透過して、活性層6で吸収されキャリアを発生する。これによって $1.3\mu\text{m}$ 帯面発光レーザが励起され、このレーザの発振光は上部DBR7を通して出射する。

【0010】このような構造によれば、

(1) $1.3\mu\text{m}$ 帯面発光レーザを光で励起するため、DBRでのジュール熱の発生による活性層の温度上昇がない。

(2) $1.3\mu\text{m}$ 帯面発光レーザのDBRがノンドープであるために、光の吸収が極めて小さい。

(3) $1.3\mu\text{m}$ 面発光レーザのDBRもAlGaAs系で作るため、Al組成によって大きな屈折率差を作ることができ、高い反射率が容易に得られる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、作製の過程で2回のウエハ融着が必要で、工程が極めて複雑であるばかりでなく、格子定数の異なる結晶を融着するため界面に大きなストレスが残り、信頼性に悪影響を及ぼす。また励起光は、活性層に対して垂直に入射するため、活性層が励起光を十分には吸収できず、殆どの励起光は活性層を透過してしまい、効率が悪いという問題点があった。

【0012】本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、効率よく光ポンプによって長波長帯面発光レーザを励起し、かつ融着を用いずにInP基板上にモノリシックに高反射率のDBRと活性層を作製することを可能にした面発光レーザを提供することにある。

【0013】

【発明が解決するための手段】本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、活性層の両側を半導体分布ブラッグ反射鏡で挟んだ構造を有し、前記活性層の側面から入射する励起光によって励起する面発光レーザであって、前記半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する半導体のバンドギャップが、前記励起光の光子のエネルギーよりも大きく、かつ前記励起光に対して透明であり、前記活性層が、量子井戸層と該量子井戸層を挟むキャリア閉じ込め層からなり、前記量子井戸層のバンドギャップが、前記励起光の光子のエネルギーよりも小さく、かつキャリア閉じ込め層のバンドギャップが、前記励起光の光子のエネルギーよりも大きい面発光レーザにおいて、前記半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する半導体のうち、屈折率の最も小さい半導体と最も大きい半導体の屈折率をそれぞれ n_{D1} 、 n_{D2} とし、前記キャリア閉じ込め層の屈折率を n_s としたとき、 $n_{D1} < n_s < n_{D2}$ の関係が成り立つことを特徴とするものである。

【0014】このような本発明においては、面発光レーザの活性層の側面から励起光を入射し、活性層とそれを挟むDBRによって、活性層の側面から入射された励起光に対する導波路を形成し、この導波路の屈折率分布を最適化することによって導波路のモード径を大きくし、活性層を一様に励起することを可能とする。また光励起であり、DBRに電流を流す必要がないことを最大限に利用し、誘電体や空気層、酸化膜層などの絶縁体のDBRを併用することによって、少ないベア数で反射率を高くする。

【0015】

【作用】本発明による面発光レーザは光励起によって発振するため、この部分には電流を流す必要が無い。従って、DBR反射鏡は電気伝導の無いものを用いることが出来る。また、電流注入をする場合に問題となるDBRの抵抗によるジュール熱の発生もないため、DBRの熱抵抗も問題とならない。従って、DBRにはInPと空気層を交互に積層したものや、InPと酸化膜を交互に積層したものなど、電気伝導が無くかつ熱抵抗が大きいものを用いることが出来る。半導体と空気や酸化膜は極めて大きな屈折率の差があるため、5ベア程度で99%以上の高反射率が得られる。DBRを形成する空気層や酸化膜は、InP基板上にエピタキシャル成長した層を選択的にエッチングや酸化することによって形成されるため、モノリシックに作製できる。

【0016】励起光は、活性層と平行に入射され、導波路を伝搬しながら活性層に吸収される。従って、励起光と活性層は十分に大きな相互作用長をもち、励起光は効率よく吸収される。ただし、吸収が強すぎる場合には、面発光レーザの中心部まで励起光が届かず、周辺部のみが励起されてしまう。これを防ぐために、励起光の導波路のクラッド層として作用するDBR層の平均的な屈折率を大きくすることが必要である。これによって、励起光の伝搬モードの径が大きくなり、量子井戸活性層での閉じ込め係数が小さくなる。このため、活性層による励起光の吸収が弱くなり、素子の中心部まで励起光が達するようにすることができる。

【0017】この励起光には面発光レーザと同一基板上にモノリシックに集積した導波路レーザの光を用いることも可能である。この場合には光学的な位置調節が不要で、励起光であることを意識せずに、励起レーザに電流を流すことによって面発光レーザを発振させることができる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

【0019】図2は、本発明の面発光レーザの一実施例を示す層構造である。符号11はInP基板、12はInAlAs、13はInP、14はInAlAsを選択的にエッチングして除去することによって形成した空気

層である。空気層14の厚さは388nmでレーザー発振波長の $1/4$ である。一方、符号13で示すInPの厚さは369nmで光学長がレーザー発振波長の $3/4$ であり、空気層InPが交互に3ペア積層することによって、DBR反射鏡を形成する。InPと空気との間には2以上の屈折率の差があるために、3ペアで十分大きな反射率を得ることができる。 $H_2SO_4+H_2O_2+H_2O$ のエッチングレートは、InPとInAlAsで選択性が極めて高く、側面からエッチングすることによって、InAlAs層のみを選択的に除去することが出来る。

【0020】符号15は、InPと格子整合のとれた厚さ113nmのバンドギャップ0.95eVのノンドープInGaAlAs、符号16は、厚さ123nmのノンドープInPでそれぞれの光学長は発振波長の $1/4$ である。符号15で示すInGaAlAsと13で示すInPのn-InPは交互に5ペア積層され、活性層の下側のDBRの一部として機能し、同時にエアギャップと活性層の間の距離を保ち信頼性を向上することに役立つ。

【0021】符号17は厚さ246nmのInPであり、光学長は発振波長の $1/2$ である。これは符号13で示すInPと空気層14からなるDBRと符号15で示すInGaAlAsと16で示すInPからなるDBRの間にあり、2つのDBRでの光の定在波の位相を合わせるために存在する。

【0022】符号18は、バンドギャップ1.1eVのInGaAlAsのキャリア閉じ込め層、符号19は、InGaAs/InGaAsAs量子井戸である。これらの層は、n-DBRと同一基板上に連続成長によって形成される。キャリア閉じ込め層18とInGaAs/InGaAsAs量子井戸19が面発光レーザの活性層となり、光学長の合計がレーザ発振波長に等しい。またこれらの層は励起光に対しては導波路のコア層として働き、励起光はこの層を横方向に伝搬しながら量子井戸層19で吸収される。

【0023】活性層の上にも符号15で示すInGaAlAsと16で示すInPからなる5ペアのDBRがあり、上部DBRの一部として働く。これは、励起光の導波路の上部クラッド層としての役割も果たす。以上の半導体の層はいずれもノンドープである。符号20はSiO₂、符号21はTiO₂で、これらは10ペア積層し、面発光レーザの上部DBRとなる。

【0024】図3は、本発明の面発光レーザの斜視図と励起光とレーザ発振光の入射方向を示す図である。励起光は基板11と平行に入射し、半導体導波路を伝搬しながら吸収される。レーザ発振光は基板面と垂直に出射する。

【0025】図4(a)は、励起光として波長1.48μmの光を、側面から入射した際の導波モードの計算結

果を示す図である。上下のInPとInGaAlAs(バンドギャップ $E_g=0.95\text{eV}$ 、屈折率3.43)のDBRをクラッド層とし、キャリア閉じ込め層のInGaAlAs($E_g=1.1\text{eV}$ 、屈折率3.34)とInGaAs量子井戸層をコア層として伝搬することが分かる。キャリア閉じ込め層のInGaAlAsの屈折率は、DBRのInGaAlAsの屈折率よりも小さいが、励起光はInPとInGaAlAsのDBRの平均的な屈折率であるため、活性層を中心にした導波モードとなっている。しかし、活性層の屈折率が、DBRのInGaAlAsの屈折率よりも小さいことを反映して、導波モードはDBR層へ大きく広がっている。

【0026】励起光の光子エネルギーは、InGaAs量子井戸以外の層のバンドギャップよりも小さいため、励起光は量子井戸層のみで吸収される。従って、吸収の強度は、量子井戸での光のモードの強度(光の閉じこめ係数 Γ)に依存し、これが大きいほど吸収が強くなる。本実施例の構造では閉じ込め係数は0.056である。吸収係数 α が $1.5 \times 10^4 \text{cm}^{-1}$ とすると、 $\Gamma\alpha=840 \text{cm}^{-1}$ となる。

【0027】図4(a)の曲線は、端面から入射した光が伝搬しながら吸収によって弱くなる様子を示す図である。入射端から5-7μmまで十分な強度を持っていて、両端から励起光を入射すれば10-15μmの大きさの素子を、均一に励起できることが分かる。

【0028】図4(b)は、比較のためにDBRに $E_g=1.1\text{eV}$ 、屈折率3.34のInGaAlAsを用い、キャリア閉じ込め層に $E_g=0.95\text{eV}$ 、屈折率3.43のInGaAlAsを用いた場合の励起光の導波モードの計算結果を示す図である。DBRのキャリア閉じ込め層の屈折率が大きいため、導波モードの分布は狭く、活性層付近に集中していることが分かる。このときの光の閉じ込め係数 Γ は0.098である。図はこのときの励起光強度の分布曲線を示している。これでは吸収が強いため、素子の内部まで励起光が届かず、中心部での利得を発振に必要な十分な値にするためには大きな励起パワーが必要である。

【0029】つまり、本発明は、半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する半導体のうち、屈折率の最も小さい半導体と最も大きい半導体の屈折率をそれぞれ n_{D1} 、 n_{D2} とし、キャリア閉じ込め層の屈折率を n_s としたとき、 $n_{D1} < n_s < n_{D2}$ の関係を有し、本実施例ではキャリア閉じ込め層に屈折率が小さく、バンドギャップの大きい半導体を用いているため、量子井戸との間のバンド不連続が大きい利点もある。光励起によって量子井戸内に選択的に電子正孔対が発生するが、熱運動によって量子井戸層から閉じ込め層へ電子が漏れると、発光効率の低下を招く。バンドギャップの大きなInGaAlAsを用いることによって伝導帯の不連続が大きくなるため、電子の漏れを防ぎ、高温での安定した動作を行うことが出

来る。

【0030】本実施例では、DBRとキャリア閉じ込め層にInPと格子整合の取れたInGaAlAsを用いて説明したが、InGaAsPを用いても同様な構造を作ることが出来ることは言うまでもない。

【0031】また、下部DBRにはInAlAsを選択的にエッチングによって除去した空気層の代わりに、InAlAsを選択的に酸化した層に置き換えることも可能である。

【0032】図5は、本発明の面発光レーザの第2の実施例を示す層構造である。面発光レーザの部分である符号15～21の部分は、第1の実施例と同じであるが、本実施例では面発光レーザの励起光を発生するための導波路型レーザを同一基板上に集積する。このため基板及び活性層の下側にある符号31, 32, 33, 35, 36, 37で示す各層はn型にドーパされている。符号31はn-InP基板、32はn-InAlAs、33はn-InP、34はn-InAlAsを選択的にエッチングして除去することによって形成した空気層である。

【0033】符号35は、InPと格子整合のとれた厚さ113nmのバンドギャップ0.95eVのn-InGaAlAs、36は厚さ123nmのn-InPでそれぞれの光学長は発振波長の1/4である。これらの層は、n型にドーパされていることを除けば、第1の実施例におけるInP基板11～InP17の層と全く同じであるが、励起用導波路レーザの下部クラッド層としても機能する。

【0034】また、活性層18, 19とその上の半導体DBRのInGaAlAs15とInP16の各層は本実施例においてもノンドープであり、第1の実施例と同一である。

【0035】符号41～45の各層は、面発光レーザを光励起するために同一基板上にモノリシックに作製された導波路型レーザである。41はバンドギャップ1.0eVのノンドープInGaAsP光閉じ込め層、42は波長1.48 μ mの光を出射するInGaAsP/InGaAs多重量子井戸活性層である。この活性層のバンドギャップは面発光レーザの活性層19のバンドギャップよりも大きい。このため、42の活性層から出射される光は19の活性層で効率よく吸収される。43はp-InPクラッド層、44はp-InGaAsオーミックコンタクト層である。

【0036】励起導波路レーザと面発光レーザの間には分離エッチング溝があり、この側面は励起導波路レーザのキャビティを形成する鏡となっている。

【0037】符号45と46の電極の間で電流を流して、励起導波路レーザを発振させると、その発振光はエッチング溝を通して面発光レーザに照射される。面発光レーザにおいて、この光は横方向に導波されながら、活性層がこれを吸収し電子正孔対が生成される。この電子

正孔対が、面発光レーザを発振させるのに十分な濃度に達した時点で、面発光レーザが発振し、上部と下部のDBRを通して発振光が出射される。

【0038】本実施例においては、p型の層は導波路レーザのみにある。一般にp型の半導体は1.5 μ m帯の光に吸収を持つため、長波長帯面発光レーザの特性を著しく劣化させる。この構造においては面発光レーザの出力光がp型半導体によって吸収されることがないため、高効率の面発光レーザを実現できる。

【0039】本実施例の素子においては、面発光レーザは光励起によって発振するため、この部分へ電流を流す必要がない。また高抵抗なDBRに電流を流す際に発生する、ジュール熱も発生しない。従って、DBRに空気層の様な電気伝導性が無く熱伝導が悪いものを用いても問題が生じない。むしろ、半導体と空気を様な大きな屈折率の差を持つ材料の組み合わせにより、少ないペア数で大きな反射率を持つDBRを作ることができる。

【0040】1.55 μ m帯の活性層の発光効率は、GaAs系の活性層に比べて強い温度依存性を有する。従って、素子抵抗のジュール熱によって活性層の温度が上昇することは、素子特性を著しく劣化させる。本実施例の素子においては、電流は電気抵抗の小さい導波路レーザに流せられるため、ジュール熱の発生は非常に小さく、しかも面発光レーザ部から空間的に分離しているため、面発光レーザの活性層の温度上昇は極めて小さく、素子特性の劣化を押さえることができる。

【0041】以上のような特徴により、本発明による長波面発光レーザにおいて5～10mw程度の大きな光出力を得ることができる。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する半導体のうち、屈折率の最も小さい半導体と最も大きい半導体の屈折率をそれぞれ n_{D1} , n_{D2} とし、キャリア閉じ込め層の屈折率を n_s としたとき、 $n_{D1} < n_s < n_{D2}$ の関係が成り立つようにしたので、面発光レーザ部には電流を流さず、ジュール熱も発生しないため、DBRに電気伝導と熱伝導の悪い材料を用いることができる。このため、高反射率のDBRをInP基板上にモノリシックに作るができる。しかも、第2の実施例においては励起用のレーザが同一基板上にあるため、励起用のレーザを別に準備する必要はなく、通常の電流注入型のレーザと同様に使用することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の面発光レーザを示す構成図である。

【図2】本発明の面発光レーザの一実施例を示す層構造である。

【図3】本発明の面発光レーザの斜視図である。

【図4】(a)は、励起光として波長1.48 μ mの光を、側面から入射した際の導波モードの計算結果を示す

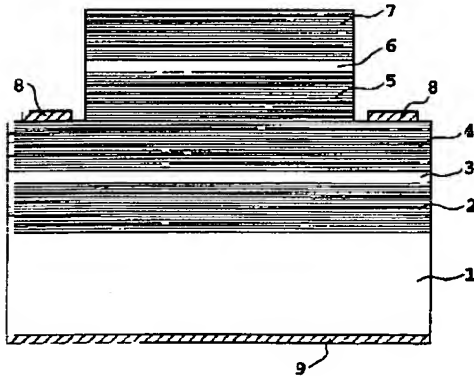
図で、(b)は、比較のためにDBRのInGaAlAsの屈折率がキャリア閉じ込め層の屈折率よりも小さい場合の励起光のモードの計算結果を示す図である。

【図5】本発明の面発光レーザの他の実施例を示す層構造である。

【符号の説明】

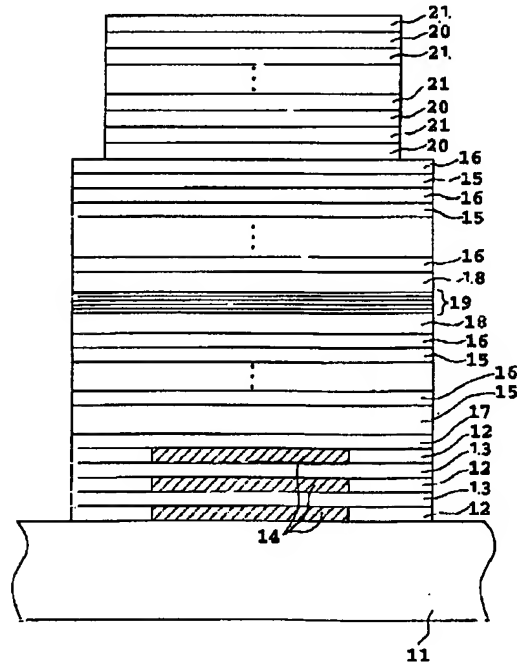
- 1 n-GaAs基板
- 2 n型の多層のAlGaAsからなるDBR
- 3 GaAs系活性層
- 4 p型の多層のAlGaAsからなるDBRミラー
- 5 ノンドープのAlGaAsのDBR
- 6 InGaAsP活性層
- 7 ノンドープのAlGaAsのDBR
- 8, 9 それぞれnとpのDBRミラー上の電極
- 11 InP基板
- 12 InAlAs
- 13 InP
- 14 空気層
- 15 InGaAlAs
- 16 InP

【図1】

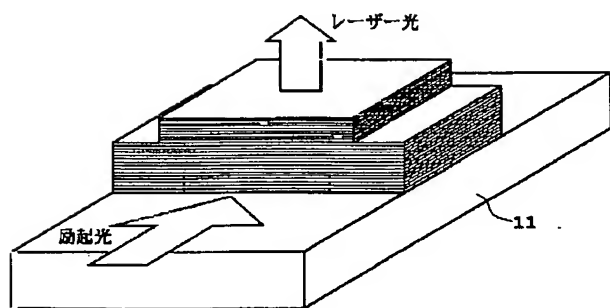


- 17 光の定在波の位相を合わせるためのInP
- 18 バンドギャップ1.1eVのInGaAlAsのキャリア閉じ込め層
- 19 InGaAs/InGaAsAs量子井戸
- 20 SiO₂
- 21 TiO₂
- 31 n-InP基板
- 32 n-InAlAs
- 33 n-InP
- 34 n-InAlAsを選択的にエッチングして除去することによって形成した空気層
- 35 バンドギャップ0.95eVのn-InGaAlAs
- 36 n-InP
- 41 バンドギャップ1.0eVのノンドープInGaAsP光閉じ込め層
- 42 波長1.48μmの光を出射するInGaAsP/InGaAs多重量子井戸活性層
- 43 p-InPクラッド層
- 44 p-InGaAsオーミックコンタクト層

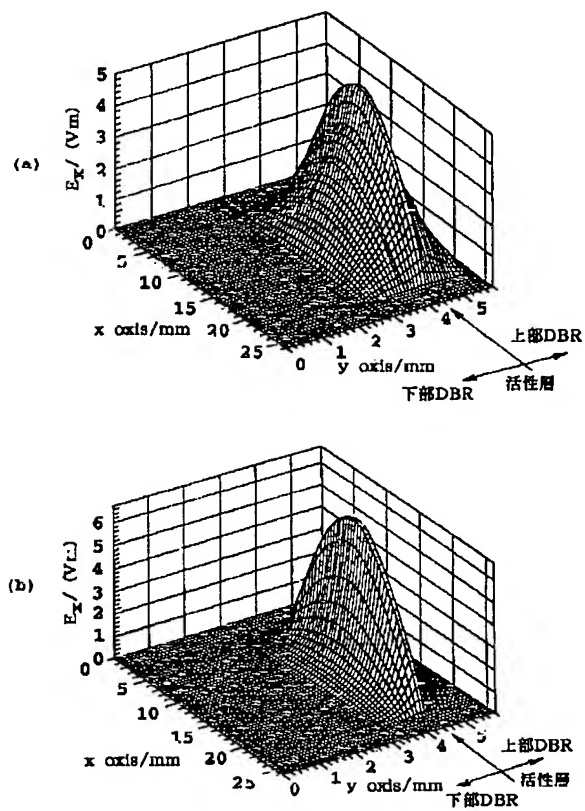
【図2】



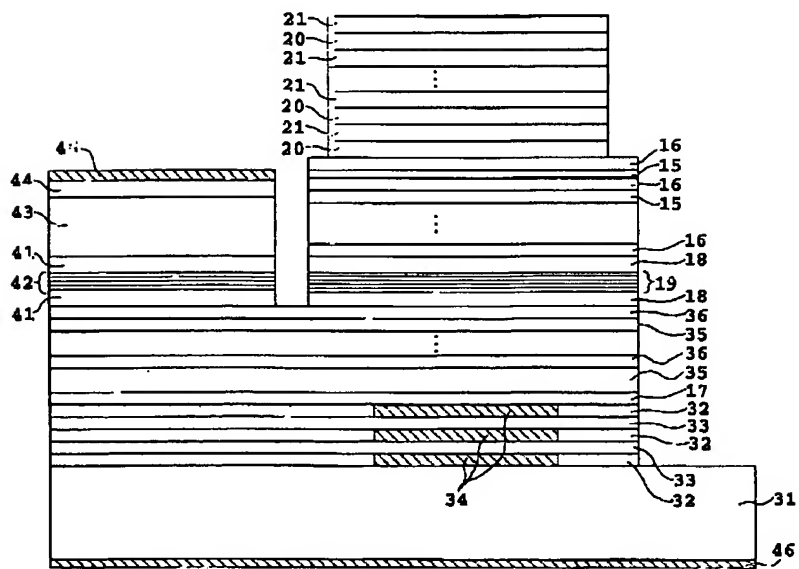
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 天野 主税

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5F073 AA51 AA65 AA74 AB12 AB17

AB21 CA07 CA13 CA15 DA23

DA35